

Maria Tyimińska  
Akademia Świętokrzyska im. J. Kochanowskiego w Kielcach  
Filia w Piotrkowie Trybunalskim

## Minimalizacja kosztów obsługi transportu w procesie zaopatrzenia przedsiębiorstwa produkcyjnego\*

Z istoty logistycznego podejścia do elastycznego reagowania na dynamicznie zmieniające się oczekiwania klienta wynika potrzeba koordynacji procesów, a głównie synchronizacji ich przebiegu w czasie i przestrzeni. Nowe wzorce zarządzania przedsiębiorstwem akcentują rolę czynnika czasu. Strategie zakładające tak zwaną kompresję czasu prowadzą do eliminacji odcinków czasu, w których nie tworzy się wartość dodana, a powstają dodatkowe koszty. „...kompresja czasu reprezentuje najmłodszą wiekowo strategię konkurowania; określana jest jako strategia zapewniająca osiągnięcie jak najwięcej po najniższych kosztach, w krótszym czasie”<sup>1</sup>. Czynnikiem czasu nabiera więc nowego znaczenia w ocenie efektywności procesów zachodzących w przedsiębiorstwie. Należy go rozpatrywać w dwóch płaszczyznach: w płaszczyźnie produkcyjnej i szerzej – w łańcuchu dostaw obejmującym bardzo szeroki zakres różnorodnych czynności i działań, począwszy od logistyki zaopatrzenia. Tu znajdują się podstawowe czynności, takie jak: zakup, transport, konfekcjonowanie, składowanie<sup>2</sup>. Są one konsekwencją fizycznego przepływu strumieni materiałowych. Szczególne miejsce w łańcuchu logistycznym zajmuje problematyka transportowa.

Jednym z aspektów oceny efektywności transportu jest niekorzystny – na tle przedsiębiorstw zachodnich – poziom produktywności transportu. Jest to rezultat między innymi wydłużonego, nieuzasadnionego oczekiwania na obsługę – wyładunek na placu przeładunkowym czy załadunek przy rampach magazynowych. Długi czas oczekiwania w kolejce oznacza niższy poziom wykorzystania środków transportowych, a w konsekwencji rosnące koszty. Jak podaje K. Kowalska, „... osiągnięcie celu, czyli zysku w przypadku zakupów oznacza głównie zmniejszenie kosztów, które osiąga się przez:[...] obniżenie kosztów transportu”<sup>3</sup>.

Jednym z obszarów decyzyjnych o charakterze strategicznym, związanych z transportem w zaopatrzeniu, jest organizacja struktury bazy dostaw<sup>4</sup>. Decyzje podejmowane w tym obszarze dotyczą liczby dostawców i organizacji dostaw. Z kolei liczba dostawców wiąże się z wyborem między zaopatrywaniem się w wielu źródłach bądź w jednym. Konsekwencją przyjętej struktury bazy dostaw jest zakres działań o charakterze administracyjnym, związanych z wprowadzeniem dokumentów zakupu do systemu informatycznego, a następnie wyładunek przesyłki, to jest ekspedycja. Zada-

niem ekspedycji jest możliwie szybki wyładunek przesyłki ze środków transportowych do miejsc składowania, tak, aby zachować sprawność przepływu materiałów. Miejsce wyładunku może być „wąskim gardłem” w strumieniu przepływu towarów<sup>5</sup>.

Optymalizacja procesów logistycznych związanych z zaopatrzeniem, w tym także optymalizacja „technologii” załadunku, wymaga zastosowania procedury modelowania matematycznego, a otrzymane wyniki stanowią konkretne wskazówki dla kadry kierowniczej firmy.

Podjęta w artykule problematyka dotyczy optymalizacji systemu transportowego w warunkach przedsiębiorstwa produkcyjnego. Mówiąc o *systemie transportowym* uwzględnić należy głębsze zależności, a nie tylko proste związki między elementami systemu. Relacje logistyczne w obszarze transportu wynikają z przyjętej struktury bazy dostaw i charakteryzują się mnogością kryteriów. To powoduje, że z decyzyjnego punktu widzenia mamy do czynienia z problemem optymalizacji wielokryterialnej. Dla potrzeb prezentowanego opracowania za kryterium optymalizacji przyjęto minimalizację kosztów systemu, a ściślej – łącznych kosztów oczekiwania jednostek transportowych na obsługę (wyładunek) oraz kosztów obsługi. Rachunek optymalizacyjny prowadzony jest na przykładzie przedsiębiorstwa Alfa SA, działającego na rynku materiałów wykończeniowych dla budownictwa. Alfa SA jako jeden z większych producentów w branży, zaopatruje rynek polski oraz rynki zagraniczne. Obroty Firmy osiągają poziom około 400 mln zł. rocznie i zatrudnionych jest w niej 900 pracowników. Firma zaopatruje rynek w produkty poprzez około 200 partnerów handlowych w kraju i około 100 poza granicami. Proces analityczny jest prowadzony przy wykorzystaniu elementów teorii masowej obsługi.

Teoria masowej obsługi to dyscyplina, której celem jest dostarczenie najbardziej precyzyjnych metod opisu i analizy systemów świadczących usługi. Charakterystyczne elementy takiego systemu to:

- 1) napływające w miarę upływu czasu zgłoszenia,
- 2) kolejka obiektów oczekujących na obsługę,
- 3) stanowiska obsługi (na przykład stanowiska diagnostowania pojazdu, sprzedawca, stanowisko wyładunku).

Schematycznie strukturę systemu masowej obsługi przedstawia rysunek 1.

\* Artykuł recenzowany (przyp. red.).

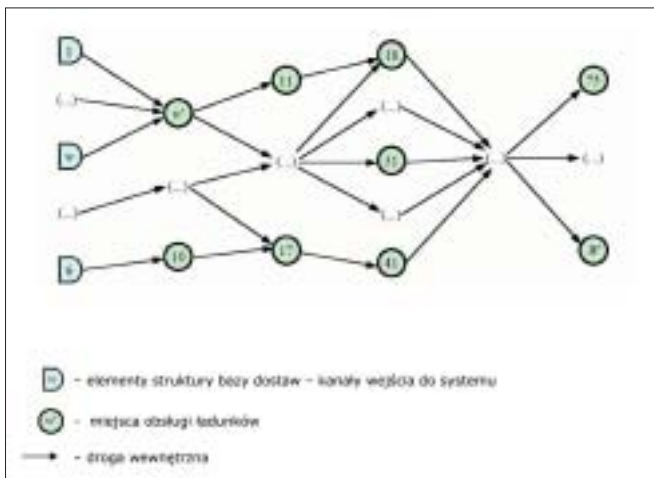
<sup>1</sup> M. Ciesielski; *Logistyka we współczesnym zarządzaniu*. AE Poznań 2003, s.119.

<sup>2</sup> K. Kowalska; *Logistyka zaopatrzenia*, AE Katowice 2005, s.108.

<sup>3</sup> K. Kowalska; Op. cit., s.50-51.

<sup>4</sup> P.B. Schary, T. Skjøtt-Larsen; *Zarządzanie globalnym łańcuchem podaży*. PWN Warszawa 2002, s.147.

<sup>5</sup> K. Kowalska; Op. cit., s.110.



Rys. 1. Struktura systemu logistycznego jako sieć masowej obsługi.  
 Źródło: M. Wasiaik; *Odwzorowanie systemów logistycznych jako systemów masowej obsługi [w:] Systemy logistyczne. Teoria i praktyka. Warszawa 2006.*

Przejawem optymalnego sterowania kolejkami jest nie tylko skracanie czasu oczekiwania na obsługę, co skutkuje zadowoleniem klienta, ale i wzrost efektywności zarządzania firmą, a tym samym wzrost dochodowości i rentowności firmy. Chodzi o rozstrzygnięcie kwestii: czy utrzymywać do-

tychczasową liczbę dwóch stanowisk obsługi, czy też ją powiększyć bądź zredukować<sup>6</sup>.

W konstrukcji modelu optymalizacyjnego wykorzystano elementy teorii masowej obsługi, gdyż logistyczny system transportowy – często połączony z magazynem – można traktować jako wyodrębniony z otoczenia zbiór zasobów, którego celem jest transformacja strumieni wejścia (strumieni masy towarowej) na strumienie wyjścia (realizacja ładunków). W takim ujęciu – jako system logistyczny – można uznać magazyn, terminal przeładunkowy czy centrum logistyczne. Mamy tu do czynienia z napływającymi w miarę upływu czasu zgłoszeniami, z kolejką obiektów oczekujących na obsługę oraz ze stanowiskami obsługi, to jest stanowiskami wyładunku. Z istoty tworzenia się kolejki wynika, że jeżeli zgłoszenia napływają w nie dających się z góry ustalić momentach czasu, to można je uznać za zmienne losowe (zdarzenia losowe), dające się opisać odpowiednimi rozkładami prawdopodobieństwa<sup>7</sup>. Charakterystyczna dla wystąpienia tych zdarzeń losowość pozwala wykorzystać w procesie analitycznym rozkład Poissona oraz związany z nim rozkład wykładniczy<sup>8</sup>. Postawiony problem decyzyjny dotyczy wyznaczenia optymalnych rozwiązań poszczególnych elementów systemu, czyli liczby stanowisk obsługi, intensywności obsługi, czasu obsługi. Podstawowe parametry i formuły modelu decyzyjnego<sup>9</sup> oraz ich ocena ujęte są syntetycznie w tabelicy 1.

Tab.1. Zestawienie podstawowych parametrów ocenowo – decyzyjnych i formuł.

Parametr Formuła analityczna	Wartość obliczeniowa	Ocena obliczeniowa
$\lambda$	0,43	Średnia częstotliwość zgłoszeń do systemu obsługi (stopa przybycia) – por. tab.2
$\mu$	0,79* (0,44)	Średnia liczba – faktyczna, nieoptymalna – klientów (składów samochodowych) obsługiwanych w jednostce czasu (stopa obsługi) – por. tab. 2. Optymalna (*) wyliczana w oparciu o kryterium minimalizacji kosztów (wz. min. $K(\mu)$ )
$\rho\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)$	0,54 $\left(\frac{0,43}{0,79}\right)$	Stopień wykorzystania kanału obsługi, przy uwzględnieniu $\mu^*$ (= 0,79)
$Q^*_{(n^*)} = \frac{\rho^2}{1-\rho}$	0,63 (składu samochodowego)	Średnia optymalna długość kolejki; wartość 0,63 oznacza w zasadzie brak kolejki do obsługi
$P(n > n_0) = q^{n_0+1}$	0,37	Prawdopodobieństwo tego, że będzie więcej samochodów w systemie, aniżeli $n_0$
$E(\tau) = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{\rho^2}{1-\rho}$	1,37	Optymalny czas oczekiwania na obsługę, to jest na wyładunek w jednostce czasu [in. średni czas przebywania w kolejce (w godz.)]

Źródło: opracowanie własne na podstawie informacji wewnętrznych firmy Alfa SA.

<sup>6</sup> K. Kukuła (red.); *Badania operacyjne w przykładach i zadaniach*. PWN Warszawa 1997, s.144.

<sup>7</sup> W. Sadowski; *Teoria podejmowania decyzji*. PWE Warszawa 1969.

<sup>8</sup>  $P_x(t) = \frac{(\mu t)^x}{x!} \cdot e^{-\mu t}$  – prawdopodobieństwo tego, że w czasie  $t$  zajdzie  $X$  zdarzeń.

<sup>9</sup> K. Kukuła, op. cit., s.144-148.

Rozwijając interpretację wyników z tabeli 1 pod kątem sprawności systemu obsługi w firmie Alfa SA, można zadać dodatkowe pytanie: jakie jest prawdopodobieństwo tego, że klient (skład samochodowy) będzie oczekiwał na obsługę dłużej niż 1,37 h, na przykład powyżej 1,5 h? Odpowiedź będzie następująca:

$$P(t > t_0) = \rho e^{-t_0(\mu-\lambda)} \text{ to jest } P(t > 1,5) = 0,54e^{-1,5(0,79-0,43)} = 0,29;$$

oznacza to, że dłuższe oczekiwanie na obsługę w firmie Alfa SA jest mało prawdopodobne i wynosi tylko 29%.

Wyjściowe wielkości i parametry będące podstawą konstrukcji decyzyjnego modelu kosztów oraz formuł ocenowo – decyzyjnych, ujętych w tabelicy 1, pochodzą z materiałów informacyjnych firmy Alfa SA (tablica 2).

Minimalizujemy zatem łączny koszt ( $K(\mu)$ ), będący sumą kosztów: oczekiwania na wyładunek (postój)  $K_{po}$  oraz kosztów obsługi składów samochodowych  $K_{ob}$ , czyli:

$K(\mu) = K_{po} + K_{ob}$ , ze względu na przyjęte kryterium ma postać:

$$\min K(\mu) = \min \left[ \mu K_{ob} + \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \cdot K_{poj} \right]$$

W modelu tym zmienną decyzyjną jest  $\mu$ , zaś:

$K_{obj}$  – jednostkowy koszt obsługi,

$K_{poj}$  – jednostkowy koszt oczekiwania na rozpoczęcie obsługi,

$\frac{\lambda}{\mu - \lambda}$  – średnia liczba składów samochodowych przebywających w systemie (oczekujących w kolejce na obsługę).

Rozwiązanie modelu daje optymalną wartość stopy obsługi:

$$\mu^* = 0,43 + \sqrt{0,43 \frac{258,75}{847,5}} = 0,79 \text{ (por. załącznik)}$$

a następnie pozwala na zminimalizowanie łącznego kosztu  $K(\mu^*)$ :

$$K(\mu^*) = 979,0$$

Wyznaczona wartość stopy obsługi  $\mu^* = 0,79$  przy intensywności ruchu na poziomie  $\rho \leq 1$  w znacznym stopniu poprawia sytuację w systemie obsługi firmy Alfa SA. Zakładając, że stopa przybyć pozostaje na nie zmienionym poziomie, układ osiąga znaczną stabilność, a prawdopodobieństwo długich kolejek maleje.

## Podsumowanie

Przeprowadzona analiza systemu transportowego firmy Alfa SA stanowi punkt wyjścia do konstrukcji decyzyjnego modelu kosztów, obejmującego koszty oczekiwania składów samochodowych na obsługę oraz koszty obsługi. Przyjęcie minimalizacji kosztów jako kryterium optymalizacyjnego pozwala następnie na ostateczną ocenę decyzyjną z której wynika, że:

- wyznaczona wielkość  $\mu^*$  (por. parametry ocenowo – decyzyjne w tabelicy 1) tworzy wysoką stabilność układu  $\rho < 1$  (0,54) w rozpatrywanym systemie obsługi
- konieczne jest zwiększenie ilości stanowisk obsługi prawie dwukrotnie, bowiem  $179,5\% = \left( \frac{0,79}{0,44} \cdot 100 \right)\%$
- proponowane rozwiązanie optymalizujące efektywność systemu obsługi wiąże się jednak z decyzjami inwestycyjnymi, głównie z kosztami inwestycyjnymi (ten problem jest podjęty w kolejnym artykule z cyklu *Wybrane aspekty optymalizacji logistycznego łańcucha dostaw*).

### BIBLIOGRAFIA:

1. Ciesielski M. (red.); *Logistyka we współczesnym zarządzaniu*, AE Poznań, 2003.
2. John J. Coyle, Edward J. Bardi, C.Johan Langley Jr.; *Zarządzanie logistyczne*. PWE, Warszawa 2002.
3. Krawczyk S.; *Zarządzanie procesami logistycznymi*. PWE, Warszawa 2001.
4. K. Kowalska; *Logistyka zaopatrzenia*. AE Katowice 2005.
5. Kukuła K. (red.); *Badania operacyjne w przykładach i zadaniach*, PWN Warszawa 1997.
6. Sadowski W.; *Teoria podejmowania decyzji*. PWE Warszawa 1969.
7. Schary P.B., T. Skjott-Larsen; *Zarządzanie globalnym łańcuchem podaży*. PWN Warszawa 2002.
8. Wasiak M.; *Odwzorowanie systemów logistycznych jako systemów masowej obsługi [w:] Systemy logistyczne. Teoria i praktyka*. Warszawa 2006.

### Załącznik

Z warunku koniecznego istnienia minimum funkcji  $K(\mu)$  wiadomo, że  $K'(\mu) = 0$ ,

co jest równoznaczne, iż:  $K_{obj} - \frac{\lambda}{(\mu - \lambda)^2} K_{poj} = 0$ , a stąd  $\mu^* = \lambda + \sqrt{\lambda \frac{K_{poj}}{K_{obj}}}$ ,

dla  $\lambda \geq 0; K_{poj} \geq 0; K_{obj} > 0$ .

Łatwo wykazać, że zachodzi również warunek wystarczający istnienia minimum funkcji  $K(\mu)$ , na przykład postaci:  $K''(\mu^*) > 0$ .

Mamy bowiem:  $K'(\mu) = \frac{2\lambda}{(\mu - \lambda)^2} K_{poj}$  i  $K''(\mu^*) = \frac{2\lambda}{\left(\sqrt{\lambda \frac{K_{poj}}{K_{obj}}}\right)^3} K_{poj} > 0$ .

Zatem funkcja  $K(\mu)$  przyjmuje minimum dla  $\mu^* = \lambda + \sqrt{\lambda \frac{K_{poj}}{K_{obj}}}$  co dla ustalonych (tablica 2)

wartości:  $\lambda = 0,43; K_{poj} = 258,75; K_{obj} = 847,5$ ; daje  $\mu^* = 0,79$ .

Tab. 2. Zestawienie danych wyjściowych.

Kwartaly (z okresu 2 lat)	Średni (w kwartale) czas wejścia liczony od wejścia poprzedniego składu samochodowego (w godz.)	Intensywność ruchu ( $\rho$ ), tj. stosunek liczby samochodów przybywających do liczby samochodów obsługiwanych (liczba względna)	Koszty (w zł) obsługi - wyładunek - ( $K_{obj}$ )	Koszty (w zł) czasu oczekiwania składu samochodowego na rozpoczęcie obsługi ( $K_{poj}$ )
1-szy rok				
I kw.	2,5	0,8	890	250
II kw.	2,0	1,1	800	220
III kw.	1,5	1,0	750	200
IV kw.	2,5	1,1	880	300
2-gi rok				
I kw.	2,8	1,0	920	323,75
II kw.	3,0	1,0	830	-
III kw.	1,5	0,9	730	-
IV kw.	2,5	0,8	980	-
Wielkości przeciętne w 2-ach latach	2,28 (tj. 0,43 składów na godz. – jest to parametr $\lambda$ )	0,97 (= $\rho$ ), wtedy $\mu = 0,44$ (gdyż: $\mu = \frac{0,43}{0,97}$ )	847,5	258,75

Źródło: materiały informacyjne firmy Alfa SA.